

# Mapa preliminar de períodos predominantes del suelo en Puerto Príncipe (Haití) a partir de medidas de ruido ambiental.

## Preliminary map of predominant periods of soil in Port au Prince (Haiti) from ambient noise measurements.

M. Navarro<sup>1,2</sup>, T. Enomoto<sup>3</sup>, M.B. Benito<sup>4</sup>, D. Belizaire<sup>5</sup>, D. Navarro<sup>6</sup>, A. García-Jerez<sup>1,2</sup>, H. Dorfeuille<sup>5</sup>

(1) Universidad de Almería, Almería, Spain. [mnavarro@ual.es](mailto:mnavarro@ual.es)  
(2) Instituto Andaluz de Geofísica. Universidad de Granada. [agjerez@iag.ugr.es](mailto:agjerez@iag.ugr.es)  
(3) Universidad de Kanagawa, Yokohama, Japan. [enomoto1@kanagawa-u.ac.jp](mailto:enomoto1@kanagawa-u.ac.jp)  
(4) Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain. [ma\\_ben@topografia.upm.es](mailto:ma_ben@topografia.upm.es)  
(5) Observatorio Nacional de Medio Ambiente y Vulnerabilidad, Haití. [bdwynn1@gmail.com](mailto:bdwynn1@gmail.com); [haendel82@yahoo.com](mailto:haendel82@yahoo.com)  
(6) Decisiones Geoconstructivas S.L., Spain. [danielnavarro@dege.es](mailto:danielnavarro@dege.es)

### SUMMARY

The 2010 Haiti earthquake, occurred on January 12th at 16:53:09 local time (21:53:09 UTC) with epicentral distance of 15 km from the capital Port au Prince, MW 7.0 and 13 km hypocenter deep, was the strongest event in the area since happened in 1770. The maximum macroseismic intensity was estimated as X (MMI scale). The aim of this research is to obtain a preliminary zonation of Port-au-Prince in terms of predominant resonance periods of ground. A total of 36 short-period ambient noise records have been carried out on a grid of about 500x500m. H/V spectral ratio method (HVSR) has been applied to determine the predominant period at each point. The lowest values (<0.2s) predominate in the southern part of the city, composed by Miocene conglomerates, while highest values (> 0.45s) correspond to the center and western parts, composed of Pleistocene-Holocene alluvial deposits and anthropogenic land reclaimed from the sea. We have determined the ground VS30 structure inside National Palace garden, using simultaneous ambient noise measurements. An array made up of 6 sensors were used, with 5 of them uniformly distributed along a circumference and a sixth one placed in its centre. The records were analyzed by using the spatial autocorrelation method (SPAC). The  $V_{s30}$  value obtained was 331m/sec, in good agreement with the average values obtained for this area by other authors, using prospecting techniques.

### INTRODUCCIÓN

El estudio del efecto de sitio es un aspecto importante para la prevención y reducción del riesgo sísmico a escala urbana. El objetivo es obtener las frecuencias (períodos) predominantes y las amplificaciones del movimiento del suelo esperado cuando se produce una sacudida sísmica.

Las medidas de ruido ambiental de corto período, para caracterizar el comportamiento dinámico del terreno (período predominante del suelo), han sido aplicadas en una gran variedad de entornos sísmicos (p.e. García-Jerez et al. 2007; Navarro et al. 2001, 2007; Caselles et al. 2010). El método de la razón espectral H/V del ruido ambiental (Nakamura, 1989) ha sido ampliamente discutido y probado como un método válido, rápido y efectivo (p.e. Konno y Ohmachi, 1998; Bard, 1999; Enomoto et al., 2002) en la determinación del período predominante del suelo.

El objetivo de este estudio es realizar un análisis de la respuesta sísmica del suelo (estructura de velocidad de cizalla y período predominante) en diferentes emplazamientos en el área urbana de Puerto Príncipe, mediante el análisis de registros de ruido ambiental de corto período.

### PERÍODO PREDOMINANTE DEL SUELO

Se ha determinado el período predominante del suelo en 37 puntos de la ciudad, a partir del método de la razón espectral H/V del ruido ambiental (Nakamura, 1989), cubriendo parcialmente la ciudad. La densidad media de puntos medidos en la zona centro fue en una cuadrícula de aproximadamente 500mx500m, mientras que en las zonas alejadas del centro urbano la distancia entre los puntos de medida fue alrededor de 1000m.

El análisis de los registros se realizó dividiendo estos en un conjunto de ventanas de 20.48 s, con un solapamiento de 2.56 s, y calculando el espectro de amplitud para cada componente. El cociente espectral H/V se calcula independientemente en todos los intervalos temporales y se representa en un diagrama dependiente del tiempo. El registro se inspecciona a continuación y los cocientes H/V se promedian para las zonas de buena calidad, considerando como componente horizontal la media geométrica de las componentes NS y EW (Figura 7a). El período de máxima amplitud del cociente H/V define el período predominante del sitio (Figura 7b).

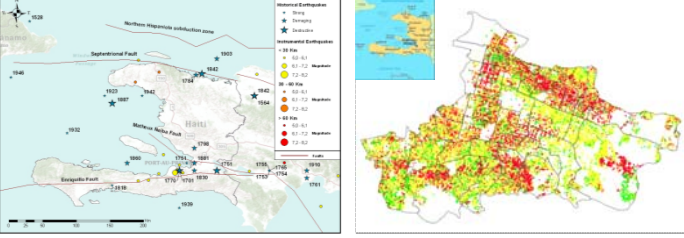


Figura 1. Distribución de la sismicidad ( $M > 5.0$ ) y principales sistemas de fallas. Principales terremotos históricos están representados con las estrellas.  
Figura 2. Distribución de daños en Puerto Príncipe debido al terremoto de Haití ocurrido el 12 de enero de 2010.

### ESTRUCTURA SUPERFICIAL DEL TERRENO

La determinación de la estructura  $V_{s30}$  del terreno en el área urbana de Puerto Príncipe (Haití) se realizó en las proximidades del Palacio Nacional a partir de medidas de ruido ambiental. En este emplazamiento, el terreno está formado por depósitos marinos y de estuarios, intercalados con depósitos de abanicos aluviales holocenos (Cox et al. 2011). Se han utilizado 6 sensores de velocidad VSE-15D de componente vertical, distribuidos 5 simétricamente a lo largo de una circunferencia de radio R y un sexto sensor situado en el centro.

Se ha utilizado el método tradicional de Autocorrelación Espacial (SPAC) para determinar el coeficiente de correlación  $p(R, \omega) = J_0(K_R(\omega)R)$  (Figura 3), y calcular la velocidad de fase de las ondas Rayleigh  $c_R(\omega)$  (Figura 4). El modelo de velocidad de cizalla  $V_s(z)$  se ha determinado a partir de la inversión estocástica de la curva de dispersión observada (Figura 5), usando un modelo inicial de partida formado por 7 capas sobre un semiespacio, construido a partir del criterio  $N/3$  (Tokimatsu, 1997) al no disponer de información geotécnica precisa en el área de estudio.

Considerando el modelo de velocidad  $V_s$  (Figura 5), se ha calculado la correspondiente función de transferencia (Figura 6) mediante el método de Thomson-Haskell (Aki y Richards, 2002) para una incidencia vertical de ondas S.

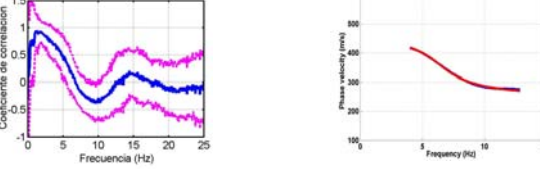


Figura 3. Ejemplo de coeficiente de correlación obtenido para un radio de 20m.  
Figura 4. Comparación entre la curva de dispersión observada (línea azul) y la curva de dispersión teórica (línea roja)

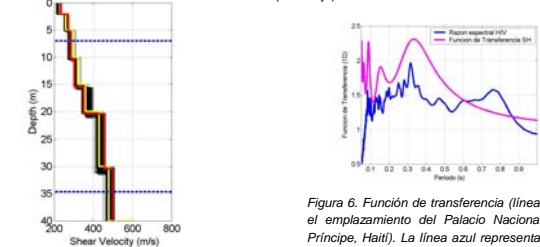


Figura 5. Modelo de velocidad de cizalla obtenido en el recito del Palacio Nacional en Puerto Príncipe (Haití). La línea amarilla representa el modelo inicial de partida. La línea roja es el modelo final



Figura 7. Mapa de distribución de períodos predominantes del suelo en la ciudad de Puerto Príncipe, obtenidos a partir de medidas de ruido ambiental.

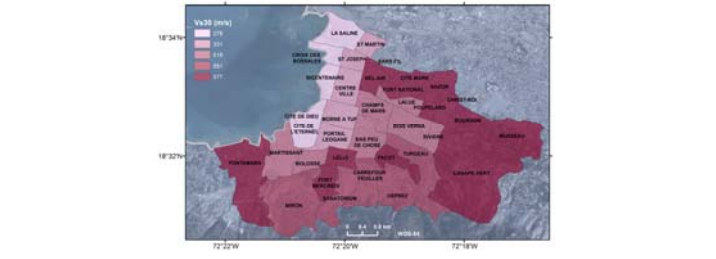


Figura 8. Clasificación del suelo en Puerto Príncipe en términos de  $V_{s30}$  (Cox et al. 2011)

### CONCLUSIONES

El emplazamiento del Palacio Nacional presenta un valor de  $V_{s30} = 331 \text{ ms}^{-1}$ , lo que le clasifica como suelo tipo D según la norma NEHRP (2003). Este valor coincide con los resultados obtenidos a partir de datos de prospección geofísica realizada por otros autores ( $335 \text{ ms}^{-1}$ ) en el área de estudio (Cox et al. 2011).

Los períodos predominantes del suelo presentan una distribución muy irregular, lo que concuerda con la heterogeneidad lateral del terreno en el área de estudio. Los valores más altos del período, con valores superiores a 0.45s, se observan predominantemente en la zona de rellenos artificiales próxima al puerto y en la formación de depósitos holocenos, y su heterogeneidad se interpreta debido a la irregularidad en la potencia de los sedimentos. Por el contrario, la formación de depósitos y conglomerados de abanicos aluviales plioceno-mioceno presenta los valores más bajos con valores inferiores a 0.15s.

La función de transferencia teórica 1D ha permitido caracterizar la frecuencia de resonancia teórica ( $f = 3.03 \text{ Hz}$ ). Este resultado es concordante con el obtenido a partir de la razón espectral H/V.

### AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por la Universidad Politécnica de Madrid a través de su programa de cooperación Internacional.

### REFERENCIAS:

Aki, K. y Richards, P.G. (2002). Quantitative Seismology. University Science Books. ISBN : 0-935702-96-2, USA.  
Arai, H., Tokimatsu, K. S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum. Bull. Seismol. Soc. Am. 2004.94.53-63.  
Bard, P.Y. (1999). Microtremor measurements: A tool for site effect estimation? The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Vol. 3, 1251-1279, Balkema.  
Caselles, J. O., Pérez-Gracia, V., Franklin, R., Pujades, L. G., Navarro, M., Clapes, J., Canas, J. A. and García, F. (2010). Applying the HV Method to Dense Cities. A Case Study of Valencia City. Journal of Earthquake Engineering, Vol. 14, 2, pp. 192-210.  
Cox, B.R., Bachtuber, J., Ratnye, E., Wood, C.M., Duberg, R., Kotze, A., Green, R.A. and Olson, S.M. (2011). Shear Wave Velocity- and Geology-Based Seismic Microzonation of Port-au-Prince, Haiti. Earthquake Spectra, Volume 27, No. S1, pages S67-S92, October 2011; VC 2011, Earthquake Engineering Research Institute.  
Enomoto, T., K. Kurayama, M. Navarro, T. Iwate (2002). Site-effects evaluation by H/V spectra comparing microtremor with strong motion records observed at ground surface and basement using borehole. 12th European Conference on Earthquake Engineering, paper 596, Londres.  
García-Jerez, A., Navarro, M., Alcalá, F. J., Luzón, F., Pérez-Ruiz, J.A., Enomoto T., Vidal, F. & Ocaña, E. (2007). Shallow Velocity Structure Using Joint Inversion of Array and H/V Spectral Ratio of Ambient Noise: The Case of Mula Town (SE Spain). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 27, pp. 907-919.  
Konno, K., Ohmachi, T. Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. Bull. Seismol. Soc. Am. 1998.88(1)228-41.  
Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Q. Rep. RTRI 30, 25-33.  
Navarro, M., T. Enomoto, F.J. Sánchez, I. Matsuda, T. Iwate, A. Posadas, F. Luzón, F. Vidal, K. Seo (2001). Surface Soil Effects Study Using Short-period Microtremor Observations in Almería City, Southern Spain. Pure appl. Geophys. 158, 2481-2497.  
Navarro, M., F. Vidal, T. Enomoto, F.J. Sánchez, F. Luzón, F. Vidal, K. Seo (2007). Analysis of site effects weightiness on RC building seismic response. The Adra (SE Spain) example. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 3, 1363-1383.  
NEHRP (2003). Recommendation provision for seismic regulation for new buildings and other structures. Building Seismic Safety Council. Washington, D. C Federal Emergency, FEMA.  
Tokimatsu, K. (1997). Geotechnical site characterization using surface waves. In: Ishihara (Ed.), Earthquake Geotechnical Engineering. Balkema, Rotterdam, pp. 1333-1368.